

PEMODELAN MUKA AIR LAUT RERATA MENGGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI ENVISAT

Herry Risdianto¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Survei dan Pemetaan Universitas Indo Global Mandiri
Jl. Jend. Sudirman No. 629 KM.4 Palembang Kode Pos 30129
Email : harun_raster@yahoo.co.id¹⁾

ABSTRACT

The purpose of this research was to create a model of Mean Sea Level (MSL). MSL modeling is done by determining Sea Surface Height (SSH) using Envisat altimetry satellite data with research sites in the sea south of Java. Evaluation is done by looking at the standard deviation of MLR models produced. The results showed that the standard deviation value 0 s.d. 0,999 m have the most amount of data, as many as 840 points, or about 94.49%. While the standard deviation value over 2 m have the least amount of data, as many as 18 points, or about 2.02%. While the remaining 3.49% is the standard deviation value between 1 s.d. 2 m.

Keywords : MSL, SSH, Envisat.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri lebih dari 17.000 buah pulau (Kahar, dkk., 1994). Indonesia setidaknya memiliki lima buah pulau besar yaitu Pulau Jawa, Kalimantan, Papua, Sulawesi, dan Sumatera. Masing-masing pulau tersebut memiliki beberapa referensi ketinggian (datum vertikal) lokal sendiri-sendiri yang tidak terkoneksi antara satu dan yang lainnya.

Idealnya, datum vertikal mengacu pada bidang geoid (Merry, 2003). Pada prakteknya di Indonesia, referensi yang digunakan adalah Muka Laut Rerata (MLR) yang diukur pada satu atau beberapa stasiun pasang surut (pasut) yang tidak saling terkoneksi. Tinggi MLR terhadap geoid yang dijadikan sebagai datum vertikal dari masing-masing stasiun pasut bersifat lokal dan bisa memiliki perbedaan hingga mencapai 2 m (Jiao, dkk., dalam Zhang, dkk., 2008).

Untuk mengetahui perbedaan MLR di laut selatan Jawa, pada penelitian ini dilakukan pemodelan MLR melalui penentuan Tinggi muka Laut atau Sea Surface Height (SSH) menggunakan data satelit altimetri Envisat. Alasan penggunaan data satelit altimetri Envisat karena memiliki prosentase ketersediaan data paling banyak untuk wilayah pantai (Heliani, dkk., 2011) serta memiliki resolusi spasial paling tinggi dengan jarak antar track 80 km (Seeber, 2003).

MLR atau lebih dikenal dengan *Mean Sea Level (MSL)* adalah rata-rata nilai tinggi muka air laut selama pengamatan. MLR merupakan fungsi dari waktu, oleh karena itu dikenal beberapa jenis MLR, yaitu MLR harian, MLR mingguan, MLR bulanan, dan MLR tahunan (Sulasdi dan Kahar, 1994).

Pengamatan yang dilakukan terhadap perubahan tinggi muka laut dalam periode waktu yang berbeda-beda dapat memberikan ketelitian yang berbeda-beda pula. Pengamatan tinggi muka laut yang dilakukan selama satu hari memberikan ketelitian dalam fraksi

meter. Apabila pengamatan tinggi muka laut dilakukan dalam waktu satu bulan menghasilkan ketelitian dalam fraksi desimeter. Selanjutnya bila pengamatan tinggi muka laut dilakukan tahunan dan dalam jangka waktu beberapa puluh tahun menghasilkan ketelitian MLR yang relatif stabil, yaitu sebesar 10 cm (Vanicek dan Krakiwsky dalam Sulasdi dan Kahar, 1994).

Nilai MLR dapat ditentukan dari pengamatan SSH. Nilai SSH biasanya diamati di beberapa stasiun pasut. Selain itu, nilai SSH juga diamati menggunakan wahana satelit (satelit altimetri). Nilai SSH pada setiap titik pengukuran selama pengamatan dihitung untuk mencari nilai rata-rata pengukurannya. Rumus hitungan MLR di setiap titik pengukuran ditunjukkan pada persamaan (1) (Seeber, 2003).

$$\text{MLR di setiap titik pengukuran} = \frac{\sum \text{SSH}}{n} \dots \dots (1)$$

Dalam hal ini,

$\sum \text{SSH}$: jumlah nilai SSH pada setiap pengukuran
n : banyaknya data SSH yang digunakan selama waktu pengamatan

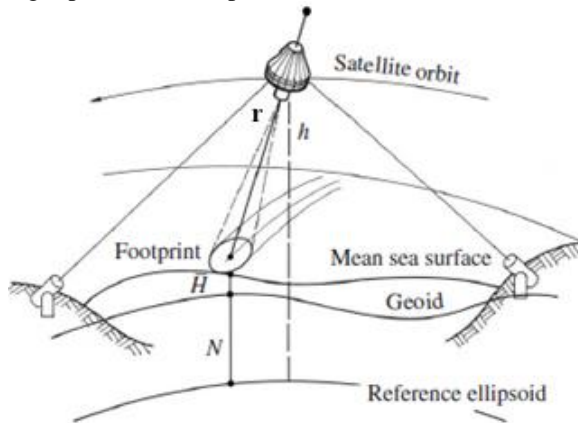
Satelit altimetri merupakan pengembangan teknologi satelit di bidang kelautan. Perkembangan satelit altimetri diawali dengan diluncurkannya sistem satelit Geos-3 pada tahun 1973. Secara umum satelit altimetri dikembangkan untuk memantau dinamika laut secara global seperti arus, MLR, SLA (*Sea Level Anomaly*), SSH (*Sea Surface Height*), *Sea Level Change*, *El Nino*, dan berbagai kajian tentang laut secara global lainnya (Seeber, 2003).

Abidin (2001) memaparkan bahwa terdapat tiga obyek ilmiah jangka panjang dari satelit altimetri, yaitu:

1. Mengamati sirkulasi lautan global.
2. Memantau volume dari lempengan es kutub.
3. Mengamati perubahan MLR global.

Teknologi satelit altimetri serta metode pengolahan data terus dikembangkan guna mengakomodir dalam pengkajian beberapa obyek ilmiah tersebut.

Seeber (2003) menjelaskan bahwa satelit altimetri digunakan sebagai *platform* yang membawa sensor yang memancarkan pulsa gelombang mikro pada frekuensi radar ke permukaan bumi, dan menerima kembali sinyal yang dipantulkan dari permukaan bumi tersebut.



Gambar 1. Konsep dasar satelit altimetri (Seeber, 2003)

Perjalanan bolak-balik pulsa radar dari satelit ke permukaan bumi kemudian kembali lagi ke satelit tersebut kemudian dapat dihitung jarak antara satelit dan permukaan bumi melalui persamaan (2) (Seeber, 2003).

$$r = c (\Delta t / 2) \dots\dots\dots(2)$$

Dalam hal ini,

r : jarak satelit terhadap permukaan bumi sesaat
 c : cepat rambat gelombang elektromagnetik
 Δt : waktu tempuh saat memancarkan dan menerima sinyal gelombang

Karena tinggi geometrik dari satelit di atas elipsoid global (h) dapat ditentukan dengan penentuan orbit satelit teliti, serta nilai undulasi geoid global (N) telah terdefinisi, maka tinggi permukaan laut di atas geoid (H) dapat ditentukan dengan persamaan (3) (Seeber, 2003).

$$H = h - N - r \dots\dots\dots(3)$$

Pada dasarnya tinggi permukaan laut sesaat yang diperoleh dari pengamatan satelit altimetri adalah SSH sebagai tinggi permukaan laut di atas elipsoid referensi. Jika mengacu pada Gambar 1 maka SSH dapat ditentukan dengan persamaan (4) atau (5) berikut (Seeber, 2003):

$$SSH = h - r \dots\dots\dots(4)$$

Atau,

$$SSH = N + H \dots\dots\dots(5)$$

Meskipun Seeber (2003) memaparkan konsep dasar satelit altimetri dengan sangat sederhana, namun pada kenyataannya kondisi dari pengukuran satelit altimetri tidak sesederhana pada persamaan (4) maupun persamaan (5). Hasil pengukuran satelit altimetri perlu dilakukan koreksi-koreksi terhadap berbagai bentuk

kesalahan dan bias. Abidin (2001) mengelompokkan jenis kesalahan dan dari data pengukuran satelit altimetri ke dalam empat jenis, yaitu:

1. Kesalahan dan bias yang terkait dengan sensor.

Kesalahan dan bias yang terkait dengan sensor antara lain yaitu kesalahan waktu altimetri, kesalahan kalibrasi altimetri, kesalahan pengarah (*pointing*) altimetri, dan *noise* dari altimetri.

2. Kesalahan dan bias yang terkait dengan propagasi sinyal.

Kesalahan dan bias yang terkait dengan propagasi sinyal yaitu terjadi karena adanya refraksi ionosfer dan troposfer.

3. Kesalahan dan bias yang terkait dengan satelit.

Kesalahan dan bias yang terkait dengan satelit terjadi karena adanya kesalahan dalam pendefinisian orbit satelit dan kesalahan sistem koordinat dari stasiun-stasiun kontrol.

4. Kesalahan dan bias yang terkait dengan dinamika muka laut.

Kesalahan dan bias yang terkait dengan dinamika muka laut terdiri dari bias elektromagnetik dan *skewness bias*. Bias elektromagnetik yaitu perbedaan antara MLR dengan muka pantulan rerata (*mean scattering surface*) yang disebabkan oleh tingkat kekasaran (*rough-ness*) muka laut yang tidak homogen. *Skewness bias* yaitu beda tinggi antara muka pantulan rerata dengan muka pantulan median (*medianscattering surface*) yang diukur oleh penjejak di satelit, yang disebabkan oleh distribusi tinggi muka laut yang tidak normal (*non-gaussian*).

Penentuan nilai SSH dari data pengamatan satelit altimetri perlu memberikan nilai koreksi terhadap berbagai bentuk kesalahan dan bias. Pemberian koreksi terhadap data pengamatan satelit altimetri dilakukan dengan kegiatan *post-processing* data. *Post-processing* dilakukan dengan memberikan berbagai koreksi data seperti pada persamaan (6) (Abidin, 2001).

$$\begin{aligned} SSH &= H - R_{corrected} \\ &= H - (r - \Delta h_{dry} - \Delta h_{wet} - \Delta h_{iono} - \Delta h_{ssb} - \\ &\quad \Delta h_{inv_bar} - \Delta h_{ocean_tide} - \Delta h_{erth_tide} \\ &\quad - \Delta h_{pole_tide}) \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

Dalam hal ini,

$R_{corrected}$: jarak satelit terhadap muka air laut terkoreksi
 Δh_{dry} : koreksi troposfer kering
 Δh_{wet} : koreksi troposfer basah
 Δh_{iono} : koreksi ionosfer
 Δh_{ssb} : koreksi *sea-state bias*
 Δh_{inv_bar} : koreksi inverse barometer
 Δh_{ocean_tide} : koreksi pasut laut
 Δh_{erth_tide} : koreksi pasut bumi
 Δh_{pole_tide} : koreksi pasut kutub

Salah satu satelit altimetri yang datanya banyak digunakan adalah satelit altimetri Envisat. Satelit altimetri Envisat secara umum memiliki karakteristik

sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 1 (Seeber, 2003).

Tabel 1.Karakteristik satelit altimetri Envisat

Misi satelit altimetri	Envisat
Tahun awal peluncuran	2002
Ketinggian rata-rata	800 km
Inklinasi	98,5°
Cakupan lintang maksimum	± 81,5°
Pengulangan <i>cycle</i> (resolusi temporal)	35 hari
Jarak antar <i>track</i> (resolusi spasial)	80 km
Frekuensi	3,2/13,6 GHz
Altimetri <i>noise</i>	2 cm
Radiometer/frekuensi	ya/2
Penentu orbit	SLR, DORIS

Satelit altimetri Envisat memiliki beberapa komponen utama yang terdiri dari:

1. *Radar Altimetri* (RA-2).

RA-2 merupakan alat yang digunakan untuk menentukan cepat rambat pantulan dua arah gema radar dari permukaan bumi dengan sangat presisi yang mencapai kurang dari nanodetik. RA-2 juga mengukur kekuatan dan bentuk pantulan pulsa radar. RA-2 terdiri dari dua saluran frekuensi, yaitu Ku band (13,575 GHz) dan S-band (3,2 GHz).

2. *Microwave Radiometer* (MWR).

MWR merupakan alat pada satelit altimetri Envisat yang dirancang untuk menentukan karakteristik dari atmosfer. Alat MWR sangat bermanfaat untuk memberikan koreksi terhadap kesalahan dan bias yang terkait dengan perambatan sinyal di atmosfer.

3. *Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite* (DORIS)

Doris merupakan alat yang berfungsi untuk menentukan posisi *real-time* serta orbit satelit secara tepat.

4. *Laser Retro Reflector* (LRR)

LRR merupakan alat yang berfungsi sebagai reflektor untuk menentukan target pengukuran *laser tracking* dari permukaan bumi.

Disamping keempat komponen utama tersebut, satelit altimetri Envisat juga memiliki *ground segment* yang terdiri atas 2 bagian, yaitu: (1) *The flight operation segment* (FOS), yang merupakan segmen yang berfungsi sebagai komando dan kontrol satelit, dan (2) *The payload data segment* (PDS), yang merupakan segmen untuk pemanfaatan data (Krisna, 2013).

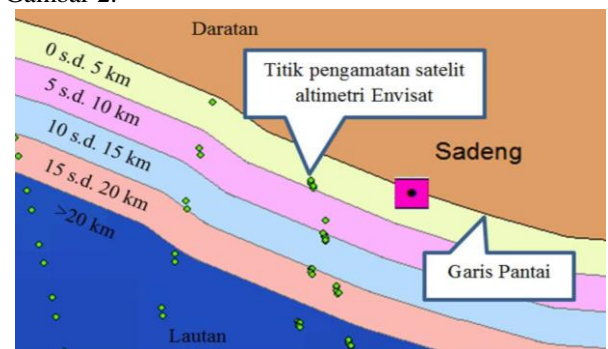
Data pengamatan satelit altimetri Envisat hasil ekstraksi masih terdapat beberapa data yang tidak memiliki nilai akuisi. Pada penelitian ini data yang tidak memiliki nilai akuisi tersebut dihilangkan dengan menggunakan *script* pemrograman menggunakan perangkat lunak Matlab. Data pengamatan satelit altimetri Envisat dalam satu *track* melewati wilayah dari kutub utara hingga kutub selatan, sehingga titik-titik

pengamatan hasil ekstraksi data perlu dilakukan pemilahan sesuai dengan wilayah penelitian. Proses pemilahan ini dilakukan berdasarkan batas lintang dan bujur dari wilayah penelitian yaitu 105° s.d. 115° bujur timur (BT) dan 5°30' s.d. 9° lintang selatan (LS). Proses pemilahan ini dilakukan perangkat lunak Matlab.

Data pengamatan satelit altimetri Envisat kadangkala terdapat data untuk wilayah daratan. Data yang berada di daratan ini harus dihilangkan. Proses penghilangannya dengan memvisualisasikan pada perangkat lunak ArcMap, kemudian menghapus semua data yang berada di daratan.

Hasil pengolahan data satelit altimetri Envisat yang dianalisis meliputi karakteristik datanya, jarak rekaman data terhadap daratan, nilai SSH dan nilai MLR. Karakteristik data yang dianalisis adalah distribusi *track* dan deteksi *outlier*. Analisis distribusi *track* dilakukan secara deskriptif terhadap keseluruhan data satelit altimetri Envisat yang digunakan. Deteksi *outlier* dianalisis dengan melihat jumlah data yang mengandung *spike* beserta distribusinya.

Analisis jarak rekaman data terhadap daratan dilakukan untuk mengetahui jumlah data yang terekam sesuai dengan klasifikasi kisaran jarak yang ditentukan terhadap daratan. Klasifikasi kisaran jarak yang ditentukan yaitu : 0 s.d. 5 km, 5 s.d. 10 km, 10 s.d. 15 km, 15 s.d. 20 km, dan >20 km. Penentuan jumlah data yang terdapat pada masing-masing jarak dilakukan dengan melakukan proses *buffer* dari garis pantai ke arah laut. Adapun ilustrasi proses *buffer* diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2.Buffer jarak rekaman data terhadap daratan

Gambar 2 memperlihatkan bahwa distribusi rekaman data terhadap masing-masing area *buffer*. Data pada masing-masing area *buffer* dihitung sehingga jumlah data berdasarkan jaraknya terhadap daratan dapat diketahui.

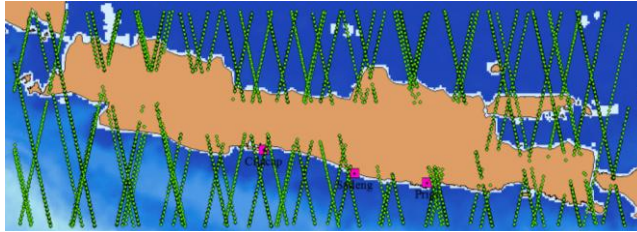
Nilai SSH dianalisis berdasarkan nilai statistiknya yaitu nilai SSH maksimum dan minimum masing-masing *cycle*. Nilai MLR dianalisis melalui nilai statistiknya yaitu nilai MLR maksimum, MLR rata-rata, MLR minimum, dan simpangan baku.

2. Pembahasan

a) Rekapitulasi Data Satelit Altimetri Envisat

Berdasarkan pada waktu penelitian ini yaitu Januari 2010 sampai dengan Desember 2010, maka terdapat 14 *cycle* dari data satelit altimetri Envisat yang digunakan. Secara keseluruhan distribusi titik pengamatan satelit

altimetri Envisat dari *cycle* 85 sampai *cycle* 98 diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Distribusi titik pengamatan satelit altimetri Envisat secara keseluruhan

Visualisasi titik pengamatan satelit altimetri Envisat yang diperlihatkan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa masih terdapat data yang masuk ke dalam wilayah daratan. Secara keseluruhan jumlah data pengamatan dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi data Pengamatan satelit altimetri Envisat

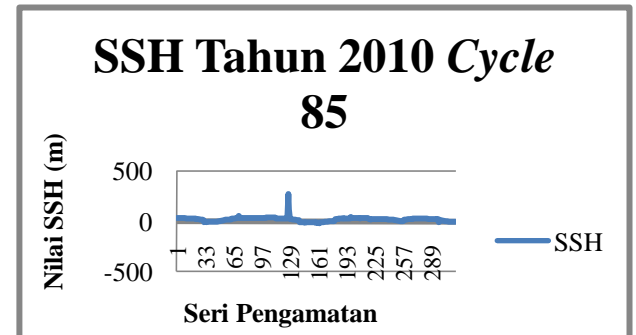
No cycle	Jum data keseluruhan	Data di daratan		Data di laut	
		Jumlah	(%)	Jum	(%)
85	361	45	12,47	316	87,53
86	1088	151	13,88	937	86,12
87	1004	122	12,15	882	87,85
88	1055	143	13,55	912	86,45
89	1071	135	12,61	936	87,39
90	1084	142	13,10	942	86,90
91	1079	145	13,44	934	86,56
92	1075	134	12,47	941	87,53
93	1081	152	14,06	929	85,94
95	34	1	2,94	33	97,06
96	967	133	13,75	834	86,25
97	922	146	15,84	776	84,16
98	138	19	13,77	119	86,23
Jum	10959	1468	13,40	9491	86,60

Tabel 2 memperlihatkan jumlah data yang berada di daratan maupun yang berada di laut. Jumlah titik pengamatan yang berada di daratan paling banyak terdapat pada *cycle* 97 dengan jumlah titik sebanyak 146 buah atau sebanyak 15,84 %. Sedangkan jumlah titik pengamatan yang berada masuk ke wilayah daratan yang paling sedikit terdapat pada *cycle* nomor 95, yaitu sejumlah 1 titik atau sebesar 2,94 %. Secara keseluruhan, jumlah titik pengamatan yang berada di daratan sebanyak 1468 titik atau sebesar 13,40 %, sedangkan jumlah titik yang berada di laut sebesar 9491 titik atau sebesar 86,60 %.

Pada penelitian ini, data titik pengamatan yang masuk ke daratan tidak digunakan. Data titik pengamatan yang berada di laut dideteksi *outlier* terlebih dahulu, untuk menghilangkan dari data yang memiliki *spike*.

Setelah dilakukan proses deteksi *outlier*, pada saat dilakukan *plotting* data ternyata masih ditemukan beberapa data *spike*, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4 (diambil contoh *cycle* 85). Gambar 4 menunjukkan bahwa adanya data *spike* pada data *cycle*

nomor 85. Data tersebut dikatakan *spike* karena memiliki nilai SSH yang begitu ekstrim bila dibandingkan dengan nilai-nilai SSH yang ada di sekitarnya. Data tersebut kemudian harus dihilangkan karena dapat merusak tingkat ketelitian dari data yang lainnya. Jumlah data *spike* yang terdapat pada masing-masing *cycle* diperlihatkan pada Tabel 3.



Gambar 4. Grafik nilai SSH

Tabel 3. Data *spike* pada masing-masing *cycle*

No cycle	Jumlah data <i>spike</i>	Prosentase (%)
85	6	1,90
86	16	1,71
87	19	2,15
88	13	1,43
89	18	1,92
90	12	1,27
91	13	1,39
92	14	1,49
93	10	1,08
95	0	0,00
96	18	2,16
97	9	1,16
98	1	0,84
Jumlah	149	1,57

Tabel 3 menunjukkan bahwa data *spike* terbesar terdapat pada *cycle* nomor 87, yaitu berjumlah 19 titik atau sebesar 2,15 % dari seluruh jumlah datanya. Sedangkan data *spike* yang paling sedikit terdapat pada *cycle* nomor 95, yaitu tidak memiliki data *spike*. Secara keseluruhan, jumlah data *spike* berjumlah 149 titik atau sebesar 1,57 %. Data *spike* tersebut kemudian dihilangkan, sehingga total data yang digunakan menjadi berjumlah 9342 titik.

b) Jarak Titik Pengamatan Satelit Altimetri Envisat terhadap Daratan

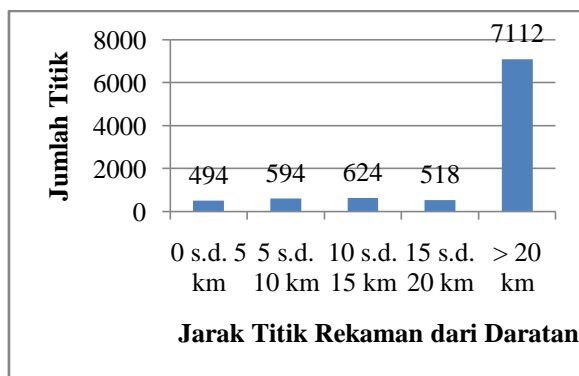
Setelah dilakukan penghilangan terhadap data di daratan, maka data pengamatan satelit altimetri Envisat tersebar di wilayah perairan penelitian. Titik-titik pengamatan tersebut juga tersebar di daerah dekat dengan daratan. Hal ini membuktikan bahwa satelit altimetri Envisat merupakan satelit dengan resolusi spasial yang tinggi dan sangat cocok digunakan untuk studi di daerah pantai.

Dengan melakukan analisis terhadap sebaran titik pengamatan satelit altimetri Envisat, jumlah titik pengamatan satelit altimetri Envisat terhadap jaraknya dari daratan diperlihatkan pada Tabel 3

Tabel 4. Jumlah titik pengamatan terhadap daratan

NO	Jarak titik pengamatan dari daratan (km)	Jumlah titik	Prosentase (%)
1	0 s.d. 5	494	5,29
2	5 s.d. 10	594	6,36
3	10 s.d. 15	624	6,68
4	15 s.d. 20	518	5,54
5	> 20	7112	76,13
Jumlah		9342	100

Jumlah titik pengamatan satelit altimetri Envisat dari daratan divisualisasikan melalui histogram pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik jumlah titik pengamatan dari daratan

Tabel 4 dan juga grafik pada Gambar 5 menunjukan jumlah data pengamatan paling banyak terdapat pada wilayah yang berjarak > 20 km dari daratan. Wilayah ini memiliki jumlah titik sebanyak 7112 titik atau sekitar 76,13 %. Sementara itu, jumlah titik pengamatan yang paling dekat dengan wilayah daratan (0 s.d. 5 km dari daratan) memiliki data sebanyak 494 titik atau sekitar 5,29 %. Kenyataan ini sesuai dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan Heliani (2011) yang merekomendasikan bahwa satelit altimetri Envisat sangat baik digunakan untuk studi wilayah pantai karena mempunyai jangkauan data pada daerah dekat dengan daratan (0 s.d. 5 km dari daratan).

c) Nilai SSH dari Data Satelit Altimetri Envisat

Setelah dilakukan penghilangan terhadap data di daratan dan terhadap data yang memiliki nilai ekstrim (*spike*), maka nilai SSH masing-masing *cycle* disajikan pada Tabel 5.

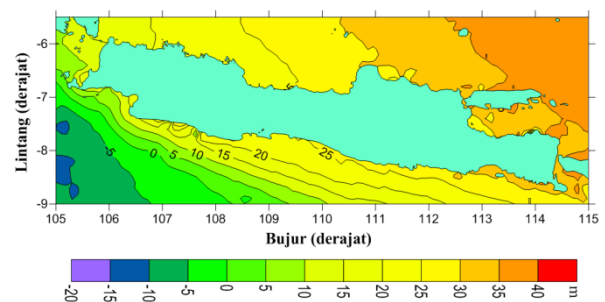
Berdasarkan Tabel 5, dapat diketahui bahwa nilai SSH minimum sebesar -19,067 m dan nilai SSH maksimum sebesar 39,997 m. Nilai SSH minimum terdapat pada data *cycle* nomor 86, sedangkan nilai SSH maksimum terdapat pada data *cycle* nomor 89. Distribusi

nilai SSH di wilayah penelitian dapat dilihat melalui visualisasi nilai SSH pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai SSH tertinggi ditunjukkan dengan warna oranye yang berada pada wilayah perairan Jawa bagian timur. Sedangkan nilai SSH terendah ditunjukkan pada warna biru yang berada di wilayah perairan Jawa sebelah barat. Visualisasi kontur pada Gambar 6 memperlihatkan pola nilai SSH yang semakin ke timur memiliki nilai yang semakin tinggi.

Tabel 5. Nilai SSH data satelit altimetri Envisat

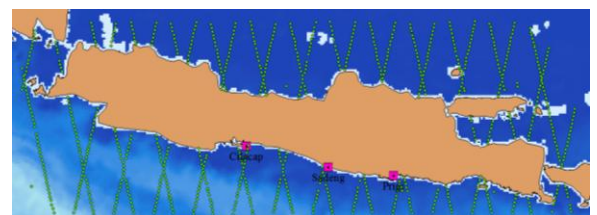
No cycle	Nilai SSH minimum (m)	Nilai SSH maksimum (m)
85	-17,614	39,891
86	-19,067	39,989
87	-9,336	39,928
88	-9,329	39,854
89	-9,471	39,977
90	-10,652	39,967
91	-9,381	39,879
92	-9,111	39,951
93	-9,856	39,997
95	-6,525	22,515
96	-13,704	39,809
97	-15,074	39,922
98	-11,259	38,690
Data gabungan	-19,067	39,997



Gambar 6. Visualisasi kontur nilai SSH

d) MLR dari Data Satelit Altimetri Envisat

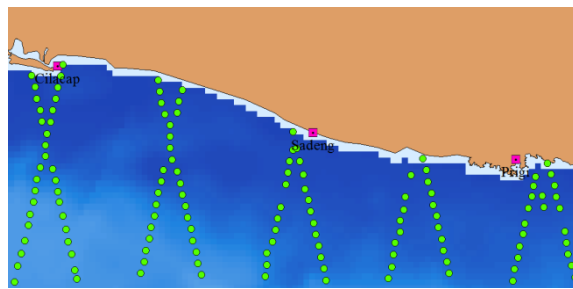
Nilai SSH yang diperoleh dari proses ekstraksi data satelit altimetri Envisat digunakan untuk menentukan nilai MLR pada wilayah penelitian. Hitungan nilai MLR menghasilkan distribusi titik-titik MLR seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Distribusi titik MLR

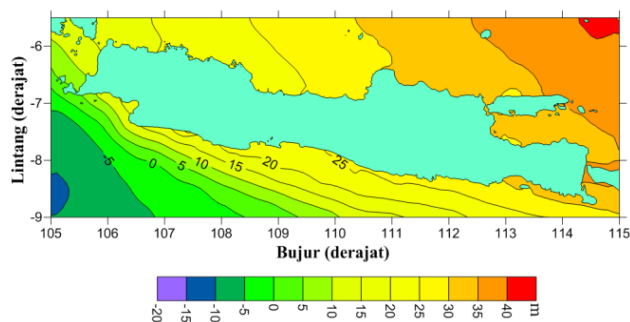
Gambar 7 menunjukkan bahwa pola distribusi posisi dari titik-titik MLR tidak begitu berbeda dengan pola distribusi titik-titik pengamatan satelit altimetri Envisat

(Gambar 3). Distribusi posisi titik MLR di sekitar stasiun pasut Cilacap, Sadeng, dan Prigi ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Distribusi posisi titik MLR di sekitar stasiun pasut

Gambar 8 memberikan kejelasan posisi titik MLR yang berada di sekitar stasiun pasut Cilacap, Sadeng, dan Prigi. Gambar 8 menunjukkan bahwa hanya ada dua *track* penuh yang terdapat di dekat stasiun pasut. Hal ini dikarenakan jarak antar *track* yang cukup jauh dari satelit altimetri Envisat, yaitu 80 km (Seeber, 2003). Nilai MLR di lokasi penelitian ditunjukkan melalui visualisasi kontur pada Gambar 9.



Gambar 9. Visualisasi kontur nilai MLR

Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai MLR terendah berada di sekitar wilayah laut bagian barat Pulau Jawa. Gambar 9 menunjukkan pola kontur yang relatif sama dengan pola kontur nilai SSH (Gambar 6), yaitu memiliki pola yang semakin ke arah timur memiliki nilai yang semakin tinggi. Secara keseluruhan, nilai MLR yang diperoleh dari pengolahan data satelit altimetri Envisat direpresentasikan berdasarkan nilai statistik yang diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Statistik MLR satelit altimetri Envisat

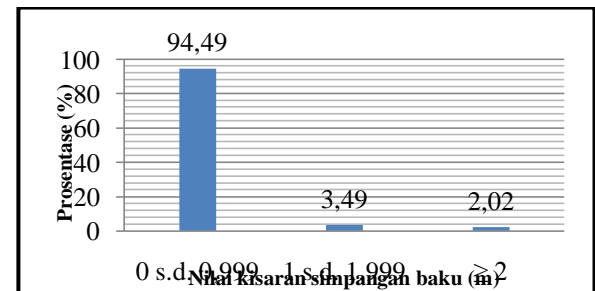
Kriteria	MLR (m)
Minimum	-10,568
Rata-rata	20,821
Maksimum	39,870

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai MLR dari data satelit altimetri Envisat berkisar antara -10 s.d 40 m, dengan nilai rata-rata yaitu 20,821 m. Analisis hasil hitungan nilai MLR ini dilakukan dengan menggunakan nilai simpangan bakunya. Nilai simpangan baku ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai simpangan baku MLR satelit altimetri Envisat

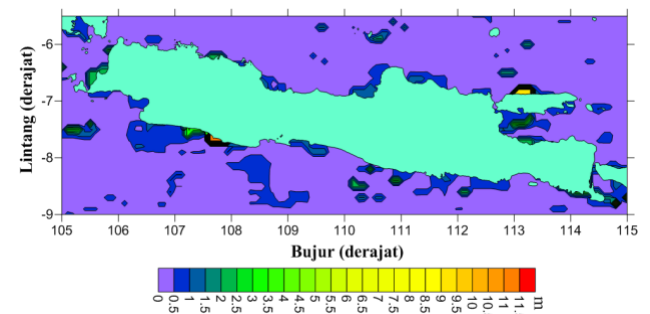
Kisaran nilai simpangan baku (m)	Jumlah data	Prosentase (%)
0 – 0,999	840	94,49
1 – 1,999	31	3,49
≥ 2	18	2,02

Nilai simpangan baku MLR dari data satelit altimetri Envisat di wilayah penelitian divisualisasikan melalui histogram pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik nilai simpangan baku MLR

Merujuk pada Tabel 7, dan dengan memperhatikan Gambar 10, kisaran nilai simpangan baku 0 s.d. 0,999 m memiliki jumlah data paling banyak, yaitu sebanyak 840 titik atau sekitar 94,49 %. Sedangkan nilai simpangan baku di atas 2 m memiliki jumlah data yang paling sedikit, yaitu sebanyak 18 titik atau sekitar 2,02 %. Sementara 3,49 % sisanya adalah nilai simpangan baku antara 1 s.d. 2 m. Visualisasi kontur kisaran nilai simpangan baku MLR tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Visualisasi kontur nilai simpangan baku MLR

Berdasarkan visualisasi nilai simpangan baku MLR satelit altimetri Envisat di wilayah penelitian, nilai simpangan baku terbesar (≥ 2 m) terdapat pada wilayah dekat dengan daratan (warnanya merah). Hal ini menunjukkan bahwa data satelit altimetri Envisat memberikan tingkat ketelitian yang rendah untuk wilayah yang dekat dengan daratan. Rendahnya tingkat ketelitian ini dikarenakan oleh besarnya *noise* yang diberikan oleh daerah pantai.

3. Kesimpulan

1. MLR yang diperoleh dari pengolahan data satelit altimetri Envisat berkisar antara -10 s.d. 40 m, dengan nilai rata-rata yaitu 20,821 m.
2. nilai simpangan baku MLR 0 s.d. 0,999 m memiliki jumlah data paling banyak, yaitu sebanyak 840 titik atau sekitar 94,49 %. Sedangkan nilai simpangan baku di atas 2 m memiliki jumlah data yang paling sedikit, yaitu sebanyak 18 titik atau sekitar 2,02 %. Sementara 3,49 % sisanya adalah nilai simpangan baku antara 1 s.d. 2 m.

Saran

1. Diperlukan adanya analisis perbedaan antara MLR yang dihasilkan menggunakan data satelit altimetri Envisat dengan MLR yang dihasilkan menggunakan data pengamatan pasang surut.
2. Disarankan untuk menggunakan data satelit altimetri Envisat dengan rentang waktu yang lebih lama untuk mendapatkan nilai MLR yang lebih teliti.

DaftarPustaka

- [1] Abidin, HZ., 2001, *Geodesi Satelit*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [2] Heliani, LS., Wiwit S., Danardono, dan Bambang KC., 2011, *Re-tracking Data Satelit Altimeter Menuju Peningkatan Kualitas dan Kuantitas Data Wilayah Pantai dan Perairan Dangkal Wilayah Perairan Indonesia*, Laporan Penelitian Fundamental, Universitas Gadjah Mada.
- [3] Kahar, J., dkk., 1994, *Pendefinisian Datum Tinggi Indonesia*, Institut Teknologi Bandung.
- [4] Krisna, IW., 2013, *Evaluasi Hasil Post-Processing Data Satelit Altimetri Envisat sebagai Data Prediksi Ancaman untuk Pemetaan Genangan Wilayah Pesisir*, Tesis, S2 Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [5] Merry, CL., 2003, *The African Geoid Project and Its Relevance to the Unification of African Vertical Reference Frames*, University of Cape Town School of Architecture, Planning and Geomatics, Rondebosch, South Africa.
- [6] Seeber, G., 2003, *Satellite Geodesy, 2nd Edition*, Walter de Gruyter, Germany.
- [7] Sulasdi, WN. dan Kahar, J., 1994, *Penyelenggaraan Geoid Teliti dalam Penyatuan Datum Vertikal Geodetik*, Institut Teknologi Bandung.
- [8] Zhang, L., Li, F., Chen, W., dan Zhang, C., 2008, *Height Datum Unification between Shenzhen and Hong Kong using the Solution of the Linearized Fixed-gravimetric Boundary Value Problem*, Journal of Geodesy, Springer-Verlag.